

УДК 621.643.8

**В.Г. МАРТИНЕНКО**, НТУ «ХПІ», Харків, Україна

**Г.І. ЛЬВОВ**, д-р техн. наук, проф., НТУ «ХПІ», Харків, Україна

### Дослідження впливу в'язкопружності на напружено-деформований стан бандажованої ділянки трубопроводу

На даний момент природний газ є одним з найпоширеніших джерел тепла та енергії. Широке використання цього виду палива підвищує потребу в транспортуванні його на великі відстані. З цією метою по всьому світу будуються газопровідні магістралі. В процесі експлуатації однією з найгостріших проблем є проблема виникнення локальних дефектів в їхніх стінках внаслідок корозії металу та дії сторонніх чинників. Для ремонту такої конструкції використовують бандажування композитними накладками в місці дислокації дефекту [1]. Основним матеріалом для газопроводів є сталь, а для ремонтного бандажу використовується склопластик. Під час цього ремонту виникає питання щодо вибору його параметрів. Тому дослідження, присвячені вивченню особливостей поведінки таких конструкцій, є актуальними.

У роботі ставиться задача аналітичного дослідження впливу в'язкопружних властивостей склопластику на напружено-деформований стан (НДС) бандажованої ділянки трубопроводу.

Повна система рівнянь теорії пружності в полярній системі координат в плоскій вісесиметричній постановці з врахуванням в'язкопружних властивостей матеріалу для експоненціального ядра згідно з [2] набуде наступного вигляду:

$$\begin{cases} \frac{d\sigma_r(r,t)}{dr} + \frac{\sigma_r(r,t) - \sigma_\theta(r,t)}{r} = 0 \\ \varepsilon_r(r,t) = \frac{du(r,t)}{dr} \\ \varepsilon_\theta(r,t) = \frac{u(r,t)}{r} \\ \sigma_r(r,t) = C_{11} \left[ \varepsilon_r(r,t) - a \int_0^t e^{-b(t-s)} \varepsilon_r(r,s) ds \right] + C_{12} \left[ \varepsilon_\theta(r,t) - a \int_0^t e^{-b(t-s)} \varepsilon_\theta(r,s) ds \right] \\ \sigma_\theta(r,t) = C_{21} \left[ \varepsilon_r(r,t) - a \int_0^t e^{-b(t-s)} \varepsilon_r(r,s) ds \right] + C_{22} \left[ \varepsilon_\theta(r,t) - a \int_0^t e^{-b(t-s)} \varepsilon_\theta(r,s) ds \right] \end{cases}, \quad (1)$$

де  $r$  – радіальна координата;  $t$  – координата часу;  $u$  – радіальне переміщення;  $\varepsilon_r$ ,  $\varepsilon_\theta$  – радіальні та окружні деформації відповідно;  $\sigma_r$ ,  $\sigma_\theta$  – радіальні та окружні напруження відповідно;  $C_{11} = C_{22}$ ,  $C_{12} = C_{21}$  – коефіцієнти матриці жорсткості матеріалу;  $a$ ,  $b$  – параметри в'язкопружних властивостей матеріалу.

Рівняння Ляме, що відповідає системі (1), запишеться наступним чином:

$$f(r,t) - a \int_0^t e^{-b(t-s)} f(r,s) ds = 0, \quad (2)$$

$$\text{де } f(r,t) = \frac{d^2 u(r,t)}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{du(r,t)}{dr} - \gamma^2 \frac{u(r,t)}{r^2}; \quad \gamma^2 = \frac{C_{22}}{C_{11}}.$$

Загальне рішення інтегро-диференційного рівняння (2) набуде простої

форми  $u^{(II)}(r,t) = A_3(t) \cdot r^2 + A_4(t) \cdot r^{-2}$ , а для випадку пружного ізотропного матеріалу ще спроститься до вигляду  $u^{(I)}(r,t) = A_1(t) \cdot r + A_2(t)/r$ .

Тут функції  $u^{(I)}(r,t)$  та  $u^{(II)}(r,t)$  є переміщеннями трубопроводу та бандажу відповідно. Вони містять в собі чотири невідомі функції часу  $A_1(t)$ ,  $A_2(t)$ ,  $A_3(t)$ ,  $A_4(t)$ , які мають бути знайдені з граничних умов та умов спряженості, що після перетворень являтимуть собою змішану систему алгебраїчних та інтегральних рівнянь [3] відносно цих функцій. Після розв'язання такої системи отримаємо відомі залежності переміщень від радіусу та часу, а використавши систему (1), обчислимо основні параметри НДС, зображені на рисунку 1.

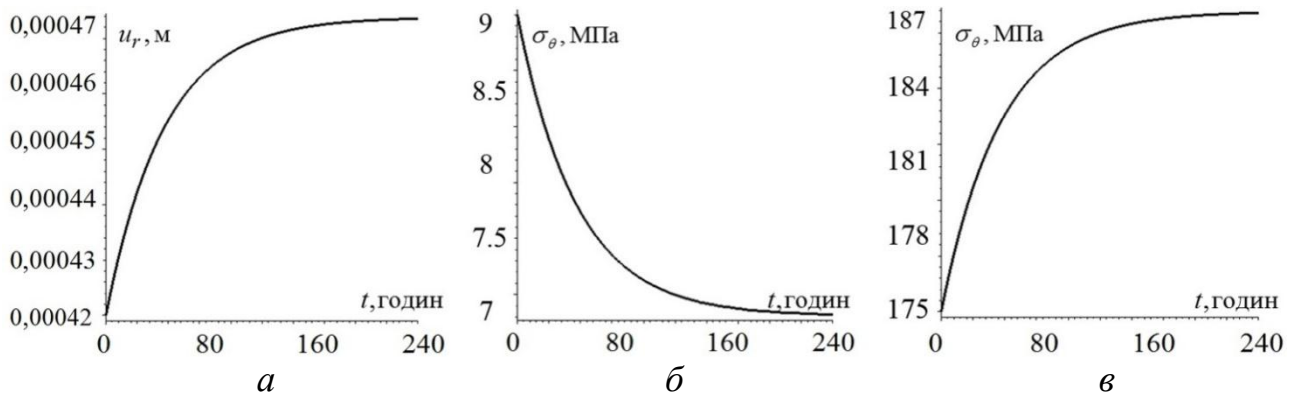


Рис. 1 – Результати розрахунків у часі:

$a$  – радіальні переміщення у бандажі,  $б$  – окружні напруження у бандажі,  
 $в$  – окружні напруження у трубопроводі

Як видно з рис. 1,  $б$  для заданих параметрів конструкції майже повна релаксація напружень у бандажі й, відповідно, їхнє зростання у трубопроводі (згідно з рис. 1 в) відбувається до моменту часу 200 годин. При цьому різниця між небезпечними окружними напруженнями в трубопроводі для початкового (відповідного пружному) та кінцевого моментів часу склала більше 7 %, що доволі значно буде впливати на висновки щодо міцності конструкцій як за наявності, так і за відсутності дефектів у стінках трубопроводу.

Таким чином, у ході досліджень був запропонований метод вирішення систем інтегро-диференціальних рівнянь та розроблена аналітична модель для врахування в'язкопружних властивостей композиту при підрахунках НДС бандажованої ділянки трубопроводу.

#### Список літератури:

1. Мустафин Ф. М. Защита трубопроводов от коррозии / Ф. М. Мустафин, Л. И. Быков // –М.: Недра., 2007. –Т. 2. –708 с.
2. Работнов Ю. Н. Ползучесть элементов конструкций / Ю. Н. Работнов // –М.: Наука, 1966. –752 с.
3. Краснов М. Л. Интегральные уравнения / М. Л. Краснов, А. И. Киселев, Г. И. Макаренко // –М.: Наука, 1968. –192 с.